

Surface Semi Réfléchissante (SSR) Combinée et Conception des Antennes BIE à bande élargie

Thai-Hung VU, Kourosh MAHDJOUBI, Anne-Claude TAROT, Sylvain COLLARDEY

IETR, UMR CNRS 6164, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex, France

thai-hung.vu@univ-rennes1.fr

Résumé

Dans cet article, une nouvelle surface semi réfléchissante (SSR) « combinée » est étudiée analytiquement. Ce type de surface nous permet d'élargir la bande passante d'une antenne standard à matériaux à Bande Interdite Electromagnétique (BIE). Une méthode d'évaluation de la bande passante de l'antenne à cavité, basée sur l'impédance d'entrée d'une source d'onde plane placée au sein de la structure, est aussi présentée.

I. Introduction

Une antenne à matériau BIE est généralement composée d'une Surface Semi Réfléchissante d'un plan réflecteur et d'une source primaire placée au sein de la structure. Cette structure est assimilée à une cavité Fabry Péro (FP) permettant obtenir des antennes à fort gain tout en conservant une structure très compacte, comparée aux autres antennes directives (cornet, parabole...). L'inconvénient principal est la très faible bande passante proposée par ces antennes (environ 0.1%-1%). Nous proposons ici une nouvelle SSR basée sur une combinaison de deux SSRs qui nous permet d'élargir la bande passante de l'antenne à cavité classique. De plus, une méthode analytique simple, basée sur l'impédance d'onde plane à l'intérieur de la cavité, est développée pour évaluer la bande de fonctionnement de l'antenne à cavité.

II. Principe de fonctionnement de l'antenne à matériau BIE

Considérons maintenant une cavité FP constituée de deux SSR caractérisées par leurs coefficients de transmission (t_1 ; t_2) et de réflexion (r_1 ; r_2). Cette cavité est illuminée par une onde plane située à entre les deux SSR. Le coefficient de transmission (T_{FP}) de la structure est donné par [1,4, 5] :

$$T_{FP}(\theta) = \frac{t_1(1 + r_2 \exp(-2jkD_2 \cos(\theta)))}{1 - r_1 r_2 \exp(-2jkD \cos(\theta))} \quad (1)$$

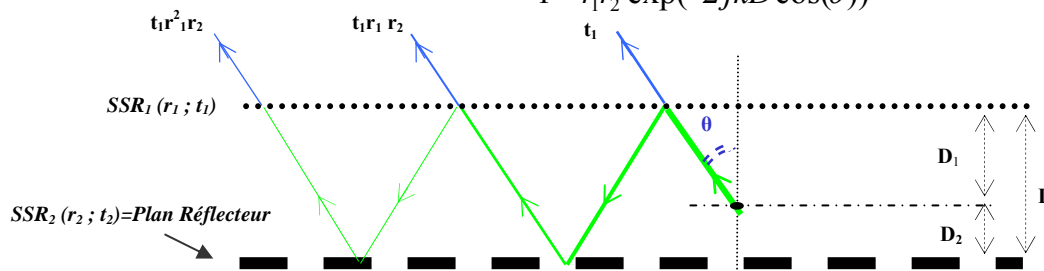


Fig. 1. Principe de fonctionnement d'une antenne à cavité FP

La directivité maximale est atteinte lorsque le module du coefficient de transmission est maximal. Nous en déduisons la condition de gain maximal en incidence normale suivante :

$$\varphi_{r1} + \varphi_{r2} = 2kD \quad (2)$$

φ_{r1} et φ_{r2} sont les phases des coefficients de réflexion des deux surfaces SSRs.

Pour une SSR classique, le terme à gauche de l'équation (2) $\varphi(f) = \varphi_{r1} + \varphi_{r2}$ est une fonction décroissante avec la fréquence (Fig. 2-a) alors que le terme de droite $F(f)=2kD$ est une fonction croissante (Fig. 2-a). L'angle formé par les deux courbes joue un rôle important sur la bande passante de l'antenne. Pour des SSRs classiques, l'équation (2) est satisfaite à une seule fréquence et la bande passante est faible car l'angle formé est assez grand.

Dans la littérature, deux méthodes permettent d'élargir la bande passante. Ces approches sont basées sur la réduction de l'angle entre les deux courbes : soit en utilisant une surface de type PMC [2] (Perfect Magnetic Conductor) (Fig. 2-b), soit en utilisant une SSRs à « inversion de phase » [3] (Fig.2-c). Notre travail s'appuie sur cette dernière méthode.

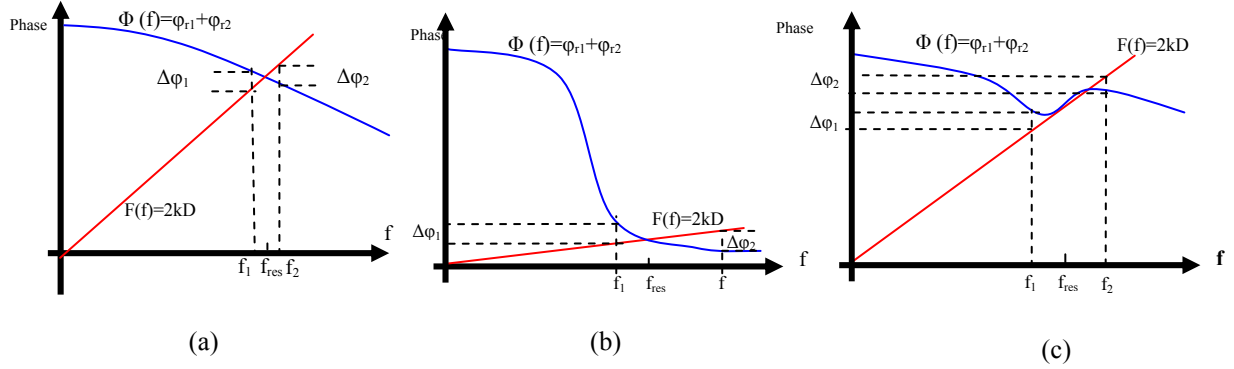


Fig. 2 Courbes de phase d'une structure classique (a) et différentes méthodes pour élargir la bande passante (b&c)

III. Surface semi réfléchissante « combinée »

Remplaçons maintenant le SSR1 du Fig.1 par une nouvelle structure composée de deux SSRs différents (SSR1a et SSR1b), séparée entre eux par une distance d. La structure est excitée par une source d'onde plane en incidence normale placée à l'extérieur (Fig. 3). Nous allons montrer que ce type de surface peut être une surface à «inversion de phase ».

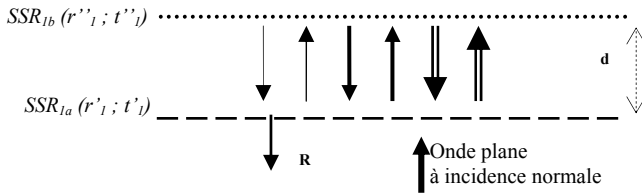


Fig. 3 : Nouvelle SSR₁ composée de deux sub-SSR (SSR_{1a} et SSR_{1b})

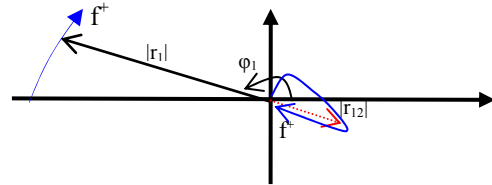


Fig. 4: Amplitude et phase des coefficients de réflexions r'_1 (à gauche) et r_{12} (à droite) en coordonnée polaire (Eq. 3)

Le coefficient de réflexion de la SSR « combinée » est donné par :

$$R = r'_1 + \frac{t_1'^2 r''_1 \exp(-2jkd)}{1 - r'_1 r''_1 \exp(-2jkd)} = r'_1 + r_{12} \quad (3)$$

Si $|r'_1| > |r''_1|$, la phase de R suit celle de r'_1 car $|r'_1| > |r_{12}|$.

$$\left| \frac{r'_1}{r_{12}} \right| \geq \frac{|r'_1|}{|t_1'^2 r''_1| / (1 - |r'_1 r''_1|)} = \frac{|r'_1|(1 - |r'_1 r''_1|)}{|r''_1|(1 - |r_1'^2|)} = \frac{|r'_1| - |r_1'^2 r''_1|}{|r''_1| - |r_1'^2 r''_1|} \geq 1$$

A la fréquence de résonance de r_{12} par contre, $|r'_1|$ est comparable avec $|r_{12}|$. La phase de R subit une modification assez importante autour de cette fréquence. C'est autour de cette fréquence que la surface est dite à «inversion de phase ».

Sur les figures 5 et 6, nous donnons un exemple d'une surface combinée constitués des pistes métalliques (SSR1a : $a/Pt=20\%$, $Pt=10\text{mm}$, SSR1b : $a/Pt=5\%$, $Pt=20\text{mm}$, a : largeur de pistes, Pt : période de pistes). La distance d entre les deux SSRs est calculée ($d = 54,327\text{mm}$) de sorte que la surface combinée présente une fréquence de résonance autour de 2,4 GHz. Nous observons qu'une inversion de phase du coefficient de réflexion se produit à partir de 2,3 GHz jusqu'à 2,5 GHz.

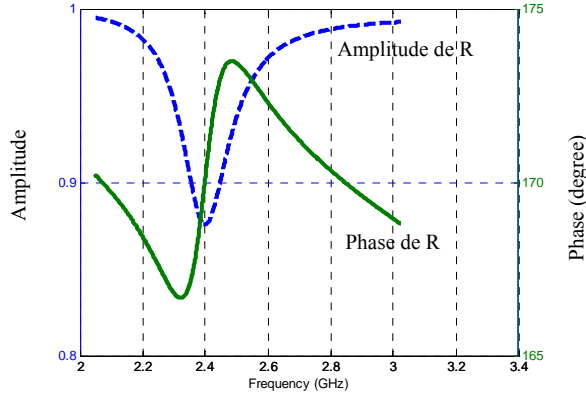


Fig. 5: Exemple d'une SSR combinée donnant une augmentation de phase du coefficient de réflexion

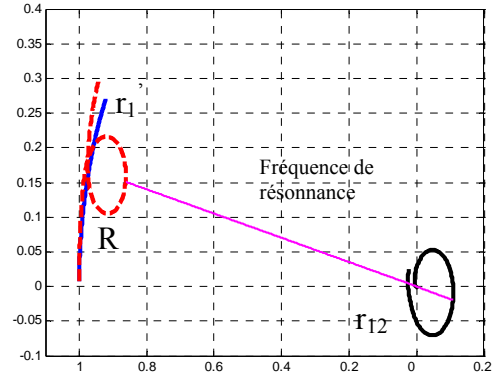


Fig. 6: à gauche: r_1 (solide courbe, bleu), R (tiret courbe, rouge) ; à droite: r_{12} (solide courbe, noir), de la SSR combinée en coordonnée polaire

Dans la section suivante, nous montrons que ce type de surface nous permet d'améliorer la bande de fonctionnement des antennes à BIE. Nous présentons également une méthode analytique simple, basée sur l'impédance d'entrée d'une source d'onde plane placée à l'intérieur de la cavité, nous permettant d'évaluer la bande de passante des antennes à BIE.

IV. Impédance d'entrée d'une source d'onde plane et évaluation de la bande passante des antennes BIE

Considérons maintenant une source d'onde plane placée à l'intérieur d'une cavité FP (Fig. 8). L'admittance d'entrée de la source s'écrit :

$$Y = \frac{1}{377} \left[\frac{(1 - r_1 \exp(-2jkD_1))}{(1 + r_1 \exp(-2jkD_1))} + \frac{(1 - r_2 \exp(-2jkD_2))}{(1 + r_2 \exp(-2jkD_2))} \right] = \frac{1}{Z} \quad (4)$$

La figure 7 présente une comparaison du module des impédances $|Z|$ de deux cavités différentes calculés en utilisant l'équation (4). La première cavité est composée d'une SSR classique et d'un plan réflecteur (PEC : Perfect Electric Conductor) alors que la seconde est composée d'une SSR « combinée » et d'un réflecteur de type PEC (Fig. 8). Il faut noter que les deux SSRs possèdent le même coefficient de réflexion ($R = r_1$), et donc la même directivité, à la fréquence de résonance (ici $f = 2,38\text{GHz}$). Dans les deux cas, les sources sont placées exactement au centre des cavités.

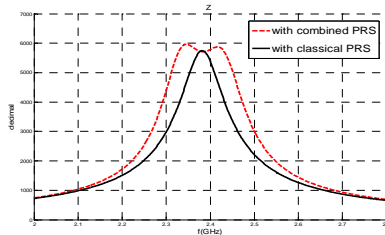


Fig. 7: Comparaison des modules d'impédance

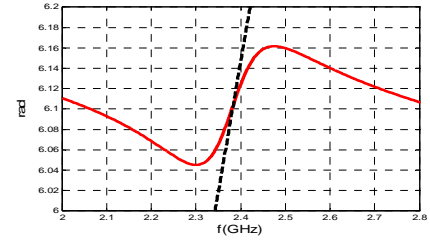
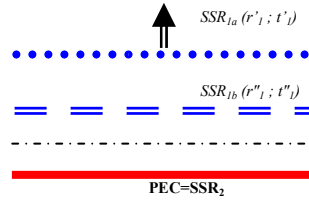


Fig. 8: Structure PEC + SSR combinés (à gauche) et la phase du coefficient de réflexion (à droite)

Nous constatons d'après la Fig. 7, que la structure utilisant une SSR « combinée » offre une bande de fréquence plus large que celle d'une structure utilisant une SSR classique.

Dans la Fig. 9, nous comparons le diagramme de rayonnement de ces deux structures autour de la fréquence de résonance. On peut constater que les niveaux du diagramme de rayonnement des antennes avec une surface combinée sont toujours plus grands que ceux utilisant une surface conventionnelle. Ces résultats confirment que les cavités à surface combinée présente une bande de fonctionnement plus large en rayonnement.

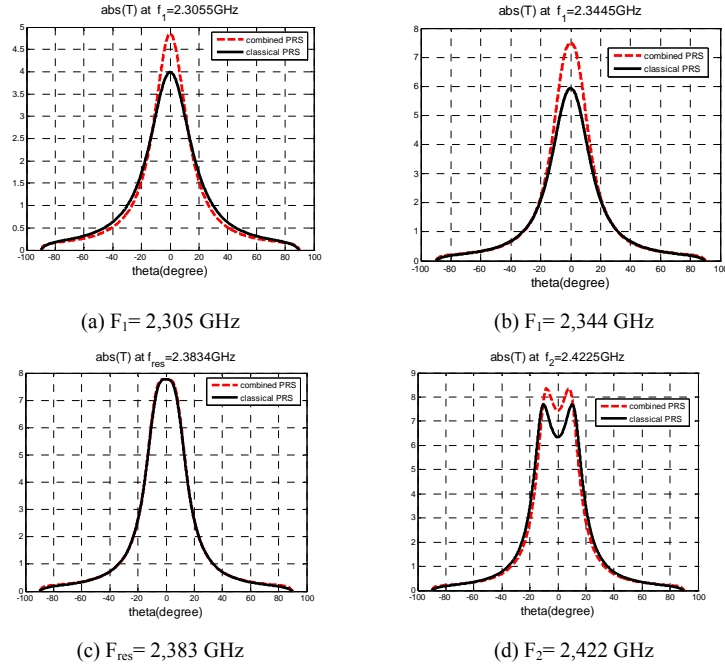


Fig. 9: Comparaison des diagrammes de rayonnement à différentes fréquences (en trait plein SSR)

V. Conclusion

Nous avons proposé une nouvelle méthode de conception et une expression analytique afin d'étudier l'élargissement de la bande de passante des antennes à BIE. La conception basée sur la combinaison de deux SSRs (Surface Semi Réfléchissante), peut être facilement généralisée au traitement des antennes à BIE multicouche en utilisant une méthode récursive simple [5]. L'accroissement de la bande passante a été vérifié analytiquement à partir des diagrammes de rayonnement et de l'impédance d'entrée de la nouvelle antenne à SSR combinée. Nous explorons actuellement l'application de plus de deux SSRs sur la combinaison des techniques de la figure 2-b (réflecteur AMC) et de la figure 2-c (SSR combinée) et également l'optimisation des paramètres des SSRs pour atteindre l'amélioration maximum la bande passante ou pour atteindre des objectifs multicritères (largeur de bande, largeur de faisceau, etc.).

- [1] G.V. Trentini, "Partially reflecting sheet arrays", IRE Trans. On Antenna and Propagation, 1956, vol. 4, pp. 666-671.
- [2] A. Ourir, A. de Lustrac, and Jean-Michel Lourtioz, "All-metamaterial-based subwavelength cavities ($\lambda/60$) for ultrathin directive antennas", *Applied Physic Letters*, No 88, 084103, 2006.
- [3] H. P. Feresidis, J. C. Vardaxoglou, "A broadband high-gain resonant cavity antenna with single feed", Pro. 'EuroCAP 2006', Nice, France November 2006.
- [4] T.H. VU, Mémoire du Master, IETR, Université de Rennes I, France, Juin 2005.
- [5] H. Boutayeb, K. Mahdjoubi and A.C Tarot, "Multi-layer crystals of metallic wires: Analysis of the transmission coefficient for outside and inside excitation", *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 59, pp. 299-324, 2006.